

Fiche n°2 (ronéos 5+6+9) : optique

I. Introduction à l'optique

‘L'électromagnétisme a déterminé la **nature de la lumière**, la **relativité** lui a chiffré sa **vitesse** et la **quantique** lui a donné **ses composantes**’

Selon Maxwell, l'**onde lumineuse** est l'association de deux champs : **électrique** et **magnétique**, **perpendiculaires** entre eux

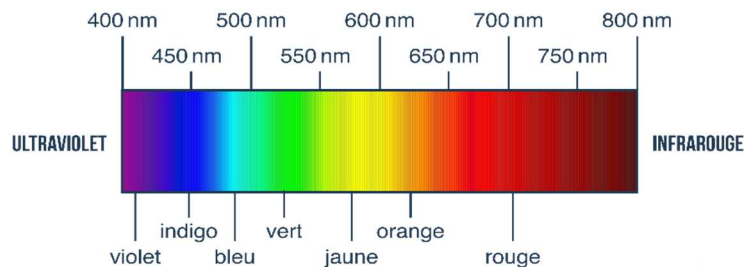
/!\ Toute onde EM n'est pas lumineuse !

Toute onde a une **longueur** (d'onde) et une **fréquence**, pour la lumière on a : $c = \lambda \nu$

La lumière **n'a pas besoin** de **support matériel** pour se déplacer.

/!\ Une onde est un **déplacement d'énergie SANS déplacement de matière**.

/!\ Ce n'est pas parce que la lumière peut se propager dans le vide qu'elle ne peut pas se propager dans un matériau.



II. Propagation de la lumière au sein d'un matériau

Dans un matériau, la vitesse de la lumière **diminue** :

$$v = \frac{c}{n} < 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$

Point unités

- n = indice de réfraction
- ϵ_r = constante diélectrique du milieu

NB : n dépend de la **longueur d'onde**, la vitesse est **variable** selon les **cou** est négligeable sauf pour la **dispersion**

→ c'est donc λ qui est divisé par n (car **fréquence = constante**) :

$$v = \frac{c}{n} = \frac{\lambda \nu}{n} = \frac{\lambda}{n} \nu$$

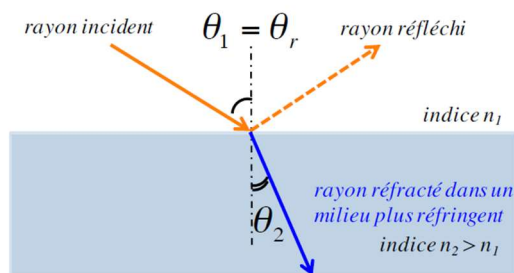
III. Optique géométrique

	Optique géométrique	Optique ondulatoire
Définition	Étude des rayons , sur des systèmes simples	Étude de la lumière lorsqu'elle passe dans une fente / un obstacle d'une largeur proche de la longueur d'onde
Ordre de grandeur	$> 1 \mu\text{m}$	$\cong 1 \mu\text{m}$
Applications directes	Lentilles minces + dioptries sphériques	Interférences + diffraction

IV. Réfraction et réflexion

Lorsque 2 milieux sont séparés par un **dioptre**, le rayon incident se dédouble en **2 rayons** :

	Rayon	Angle
Incident	-	Entre la normale et le rayon incident
De réflexion	Symétrique par rapport à l'incident	Égal à l' angle incident (→ loi de réflexion spéculaire)
Réfracté	Direction différente de l'incident	Entre la normale et rayon réfracté (→ loi de Snell-Descartes)



Définition :

Dioptre : interface **lisse** entre 2 milieux optiques caractérisés par des **indices optiques différents** n_1 et n_2 . Il peut être **plan** ou **sphérique**.

On peut calculer l'angle réfracté avec la

loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

Quelques cas particuliers :

- si l'angle incident = 0 → **pas de déviation**
- si $n_1 = n_2$ → **pas de déviation**
- si le rayon incident vient depuis le milieu **le plus réfringent** (i.e. $n_1 > n_2$) : possibilité de **réflexion totale**

Réflexion totale lorsque : (*)

$$\theta_L < \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \theta_1$$

car

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \theta_1$$

$$\frac{n_1}{n_2} > 1$$

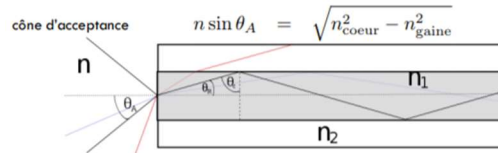
Jean Michel Démonstration,
c'est toi ? Ta soif de
démonstration sera
satisfaite avec nos fiches
annexes 😊

NB : cette équation (*) admet **toujours** une solution car $n_1 > n_2$

Applications de la réflexion totale :

1. Numérique : calcul de l'**angle limite** pour lequel le rayon **incident** subit une **réflexion totale**.

2. Fibre optique : 2 couches avec des indices optiques différents ($n_{\text{coeur}} > n_{\text{gaine}}$)
→ si on envoie un rayon avec angle suffisamment « plat », on a réflexion totale et le rayon peut se déplacer sur de **longues distances**.



3. Angle d'acceptance (+++) : (demi)angle pouvant permettre une **réflexion totale** → est à la base du **cône d'acceptance** (composé de « 2 » angles d'acceptance) :

$$n * \sin \theta_A = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}$$

→ on a alors un système optique **d'ouverture finie circulaire**

On peut alors définir la notion d'**ouverture numérique NA** :

$$NA = n * \sin \theta_m$$

ou

$$NA \cong \frac{n \cdot r}{d} \text{ si } \theta_m \ll 1$$

ou

$$NA = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}$$

dans le cas de la fibre optique

θ_m : **plus grand angle** sous lequel l'objet voit l'**ouverture de l'axe optique**

NB : Le **pouvoir séparateur** d'un instrument s'exprime souvent en fonction de l'ouverture numérique !

Autre cas particulier :

La dispersion : réfraction **dépendante** de la **longueur d'onde**

Sur un **prisme non droit** (i.e. angle au sommet $\neq 0$) → le rayon incident subit **2 déviations** (→ entrée + sortie). Cet ensemble de réfractions forme l'**angle D** = angle de **déviation**

NB : si l'angle incident n'est **pas trop grand**, on peut utiliser l'approximation

$$D \cong A \cdot (n - 1)$$

Loi de Cauchy :

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

Ainsi lorsque $\lambda \nearrow$, $D \searrow$, le bleu est donc plus dévié que le rouge

Point unités

- a , coeff positif, sans dimension, caractéristique du milieu
- b , coeff positif, en m^2 , carac. du milieu

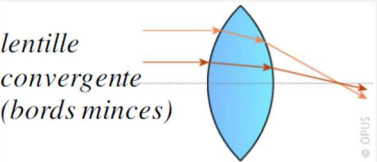
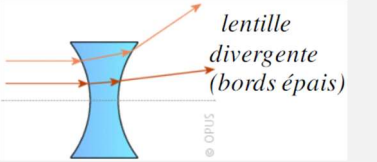
V. Lentilles/dioptres sphériques

Le but de l'optique géométrique est d'**agrandir** les images !

Les rayons sont cependant constamment soumis au phénomène de **divergence**, on utilise alors des **lentilles** composées de **dioptries sphériques**

A. Définitions

Lentille : association de **deux dioptries** souvent sphériques.

Lentille à bords minces	Lentille à bords épais
	
Convergentes	Divergentes
Fait converger les rayons lumineux // venant de l'infini vers le foyer image F_i	Fait diverger les rayons lumineux // venant de l'infini en avant du dioptr -> foyer image virtuel
Correction hypermétropie	Correction myopie

Système optique : assemblage de **miroirs** et de **lentilles** reliant objets et images.

Par convention, l'entrée du système est à gauche, la sortie à droite.

Le système est **centré** s'il possède un **axe de symétrie de révolution** (= **centre optique**).

Objet : source de rayons **entrant** dans le système optique

→ **réel** si **avant** la face d'entrée / → **virtuel** si **après**

Image : source de rayons **sortant** du système optique

→ **réelle** si **derrière** la face de sortie (→ *projetable sur un écran*)

→ **virtuelle** si **avant** face d'entrée

Stigmatisme : l'image d'un point est un point → ces 2 points sont dits **conjugués**

→ approché sauf dans le cas des **miroirs plans rigoureux**

→ dû à la symétrie de révolution des dioptries oculaires

Aplanétisme : dans un **système centré**, tout petit objet AB et \perp à l'axe optique a une image A'B' **plane** et \perp au même axe.

Rayons paraxiaux : dans un **système centré**, ce sont des rayons ne formant que de **petits angles** par rapport à l'axe optique.

NB : les rayons **divergent** à partir d'un objet **réel** mais **convergent** vers un objet **virtuel**.

On n'a pas détaillé toutes les définitions à la TTR mais elles sont importantes +++
On ne vous posera pas de questions dessus, par contre elles sont là pour vous aider dans votre compréhension du cours !

B. Dioptries sphériques

Dioptre convexe	Dioptre concave
<p>$\overline{SC} > 0$</p>	<p>$\overline{SC} < 0$</p>
S se trouve avant C $\overline{SC} > 0$	S se trouve après C $\overline{SC} < 0$

Topo notations :

	Correspond à	<0 quand	>0 quand
$\overline{SA} = p$	Distance objet	Objet réel	Objet virtuel
$\overline{SA'} = p'$	Distance image	Image virtuelle	Image réelle

Point unités

- a , coeff positif, sans dimension, caractéristique du milieu
- b , coeff positif, en m^2 , carac. du milieu

Loi du dioptre sphérique :

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = D$$

D = **vergence** du dioptre (en dioptries, m^{-1})

Si $D > 0$ → dioptre **convergent**

Si $D < 0$ → dioptre **divergent**

Pareil, toute cette partie est là pour que vous compreniez mieux les montages par la suite 😊

C. Foyers et distances focales

Foyer objet F : point à partir duquel des rayons lumineux sont transmis **parallèlement** à l'AO.

L'image de F correspond à un point A' **situé à l'infini** (comme si $\overline{SA'} = +\infty$).

Distance focale objet : $-SF = -f$

Le plan \perp à l'AO et passant par le foyer objet = « **plan focal objet** ».

Foyer image F' : point vers lequel converge un faisceau de rayons incidents **parallèles** à l'AO.

Le foyer image F' correspond à l'image d'un objet A **situé à l'infini** ($\overline{SA} = -\infty$).

Distance focale image : $\overline{SF'} = f'$

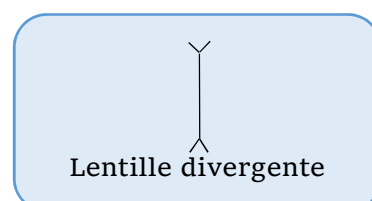
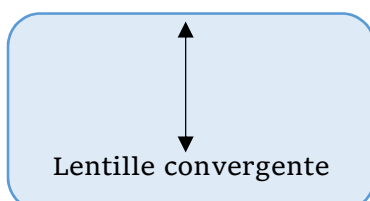
Le plan \perp à l'AO et passant par le foyer image = « **plan focal image** ».

Ainsi, on a (+++) : $\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} = D$

D. Lentilles minces

dioptre sphérique de courbure fine $\times 2$ = lentille mince

NB : La vergence de deux lentilles minces accolées s'additionnent



3 règles à respecter pour les constructions géométriques :

1. Un rayon **incident parallèle à l'AO** est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant passe par le **foyer image F'**.
2. Un rayon **incident** passant par le **foyer objet F** est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant est **parallèle à l'AO**.
3. Les rayons qui passent par le CO **ne sont pas déviés**.

/! Pour une **lentille divergente** les foyers image et objet sont **inversés**, mais les rayons venant toujours (+++) de la gauche, il faut tracer les prolongements

Grandissement transverse :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{p'}{p}$$

/! Le grandissement n'est pas toujours supérieur à 0 ou à 1 avec une lentille **convergente**

NB1 : pour un objet à distance **2F** → **$\gamma = 1$**

NB2 : pour un objet placé **sur le plan focal** → grandissement **infini**

☼ Point mnémo :

Lentille convergente	Lentille divergente

Ce mnémo a été imaginé par le tuteur de physique d'il y a deux ans ! (rendons à César (enfin à Ecubas du coup) ce qui est à César). Si vous arrivez à le retenir par cœur, ça vous permettra de déterminer plus rapidement si une image est agrandie, inversée, réelle, etc !

Sinon, il vous suffira de faire le montage géométrique, avec la méthode que nous vous expliquerons avec les fiches (et peut être avec d'autres supports ? 😊)

VI. Les interférences

A. Définitions

Intensité lumineuse moyenne due à **superposition** de **signaux sinusoïdaux** (les ondes) **déphasés**.

Les ondes sont une **vibration** du **champ électromagnétique + électrique** → les champs électriques s'additionnent.

1. Cas général :

Soient 2 ondes **décalées** l'une par rapport à l'autre, on a une **variation** d'énergie donc une variation de l'**intensité lumineuse**.

2. Ondes en phases :

Les champs électriques s'additionnent → l'**amplitude** est **4x plus grande** (l'énergie du champ électrique correspond au carré du champ électrique), l'intensité est **maximum**.
→ **interférences constructives**

3. Ondes en opposition de phase :

La somme des amplitudes des 2 champs électriques **s'annule**, la **variation** d'énergie est **nulle** → **interférences destructives**

B. Interférences à 2 sources d'onde

Soient 2 sources ponctuelles émettant des ondes **monochromatiques** et **cohérentes**.

On voit alors des régions plus lumineuses que d'autres :

- Franges **claires** → interférences **constructives** :

Les ondes partant des 2 sources doivent arriver **en phase** au niveau du capteur → soit un **nombre entier** d'onde :

$$\delta = k \cdot \lambda$$

- Franges **sombres** → interférences **destructives** :

Les ondes arrivent en **opposition de phase** au niveau du capteur

→ un **nombre entier + une demi-longueur** d'onde (→ une onde est à son maxima quand l'autre est à son minima) :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

Dans le cas où $D \gg a$, la **différence de marche** s'écrit :

$$\delta = a \cdot \sin \theta$$

Si l'angle est petit

$$\sin \theta = \theta$$

$$\delta = a \cdot \theta$$

Ainsi l'intensité lumineuse sur l'écran est **périodique** avec une **succession** de franges **claires** et de franges **sombres**.

Point unités

- δ = différence de marche, en m
- k = nombre entier, sans unité
- a = distance entre les 2 sources d'ondes, en m
- λ = longueur d'onde, en m
- θ = angle d'incidence de la source, en rad
- D = distance entre les sources et l'écran, en m
- i = interfrange, en m

Les **maximas** se trouvent sur tous les angles multiples de

$$\frac{\lambda}{a}$$

Les **minimas** se trouvent sur tous les angles multiples de

$$\frac{\lambda}{2a}$$

→ l'angle entre chaque pic = **intervalle angulaire** vaut :

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Ainsi si $\lambda \searrow \rightarrow$ maximas + **serrés**, si $\lambda \nearrow \rightarrow$ maximas + éloignés

si $a \searrow \rightarrow$ maximas + **éloignés**, si $a \nearrow \rightarrow$ maximas + serrés

Interfrange i : distance entre 2 franges sombres/clairées consécutives ou **longueur des tâches** :

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

Intervalle angulaire en fct° de l'interfrange :

$$\Delta\theta = \frac{i}{D}$$

Ce qui est important ici, c'est de retenir les variations de θ et i en fonction des autres paramètres.

C. Interférences dans des lames minces

On considère ici des **sources étendues**.

Soit un milieu **transparent mince** délimité par 2 dioptries, si on envoie de la lumière, on a 2 types de rayons :

- un **directement réfléchi** sur la surface extérieure
- un pénétrant à l'intérieur de la couche puis **réfléchi sur la surface intérieure**

1. Indices optiques égaux à l'extérieur

On admet la **différence de marche** :

$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

on a alors :

→ pour les interférences **constructives** :

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

→ pour les interférences **destructives** :

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$

NB : ce phénomène **dépend** donc de la **longueur d'onde**

Point unités

- n = indice optique du 2ème milieu, sans unité
- e = épaisseur de la couche, en m
- N = nombre de fentes

2. Lame sur un matériau d'indice optique supérieur

On admet la **différence de marche** :

$$\delta = 2ne$$

→ pour interférences **destructives** :

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

→ pour interférences **constructives** :

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$

S'il est demandé de calculer plusieurs épaisseurs en QCM, pour les mêmes indices optiques, il faut multiplier e par k , un entier quelconque

D. Interférences à N sources = réseau optique

Réseau optique = écran opaque à la lumière avec dedans **fentes très fines**, de façon **périodique**. Chaque fente est alors une source de lumière, on observe des **interférences**.

On peut calculer l'**espacement** entre 2 franges :

$$\frac{\lambda}{a}$$

On peut également calculer les **maximas d'intensité** :

$$\theta = k \cdot \frac{\lambda}{a}$$

La **largeur (angulaire)** des pics **diminue** avec le **nombre de fentes** :

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{N \cdot a}$$

/! Plus il y a de fentes, plus l'intensité lumineuse est importante

VII. Diffraction

A. Définitions

La diffraction est observée lorsque la propagation des ondes est changée par un **obstacle** de taille équivalente à la longueur d'onde ($< 1 \mu\text{m}$). Ce phénomène concerne les sources **étendues** \neq **ponctuelles**.

Mise en application : soit une source étendue et une **ouverture** \cong longueur d'onde, les ondes planes périodiques vont « se casser » et **former de nouvelles ondes**.

On peut remplacer cette ouverture continue par une **infinité de sources ponctuelles** \rightarrow **principe de Huygens-Fresnel** qui fait le lien entre l'**interférence** et la **diffraction** \rightarrow dépend aussi de l'ouverture, **si ouverture** \searrow , **diffraction** \nearrow .

B. Diffraction par une seule fente

L'intensité de diffraction par une fente présente une **tâche centrale intense** et des **tâches satellites avec une intensité + faible**.

On peut retrouver la position des **minimas** :

$$\theta = k \frac{\lambda}{b}$$

La **largeur angulaire tâche centrale**, est définie par :

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$$

Application : La diffraction est aussi observée si l'écran opaque est remplacé par du **vide** et la fente par un **obstacle** de même taille.

On a : $\Delta\theta = \frac{\lambda}{D}$ et $\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$ d'où $b = \frac{2\lambda D}{L}$

C. Diffraction par une fente circulaire

Figure : tâche centrale (= **d'Airy**) et tâches périphériques

\hookrightarrow demi-largeur angulaire $\theta = 0.61 \frac{\lambda}{r}$ (dans le **vide**)

\hookrightarrow demi-largeur angulaire $\theta = 0.61 \frac{\lambda}{n'r}$ (dans le **pas vide**)

Point unités

- b = largeur de la fente/de l'obstacle, en m
- L = largeur de la tâche centrale, en m

D. Diffraction par deux fentes

Interférences et **diffraction** peuvent être combinées : chaque fente diffracte l'onde et les 2 ondes diffractées interfèrent.

On retrouve les 2 phénomènes :

- **l'interférence** : varie **rapidement** en fct° de la **largeur angulaire** entre chaque frange

$$\frac{\lambda}{a}$$

- **la diffraction** : de modulation **lente**, a pour **dimension angulaire** :

$$\frac{\lambda}{b}$$